

水资源与社会经济发展要素时空匹配特征 ——以张家口为例

韩雁^{1,2}, 贾绍凤^{1,2}, 鲁春霞¹, 吕爱锋^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
2. 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 水资源短缺已成为制约区域经济社会发展的重要因素, 协调水资源与社会经济关系是水资源可持续利用的关键。以张家口为例, 采用洛伦兹基尼系数和不均衡指数模型对水资源与社会经济发展要素的时空匹配特征进行研究, 结果表明: 2004—2015年张家口水资源与人口、耕地面积分布处于“匹配比较合理”和“相对匹配”状态, 水资源与经济布局匹配呈现出由“完全不匹配”状态逐渐转变为“相对不匹配”状态。在空间匹配演化方面, 水资源与人口、耕地面积的匹配度变化不大。水资源与经济匹配结果表明在水资源禀赋越差的地区, 经济增速越快, 水资源与经济的空间匹配状况越差。张家口水资源与社会经济发展要素时空匹配特征研究, 对于指导区域水资源合理开发利用具有重要的现实意义。

关键词: 水资源; 时空匹配; 基尼系数; 不均衡指数; 张家口

水资源是经济社会发展不可替代的自然资源之一。由于降水事件的随机性和经济社会发展集聚的不均衡性, 水资源空间分布与区域经济、人类活动布局不相一致, 致使一些地区水资源出现短缺, 严重影响了区域经济社会可持续发展^[1]。如何化解水资源短缺对经济社会的制约, 实现水资源的可持续利用, 是当前经济社会发展所面临亟待解决的问题。对区域水资源与社会经济时空匹配进行较准确的评价与把握, 是区域水资源优化配置的前提和基础^[2]。为此, 国内外学者正逐步展开对水资源与土地、人口、经济、能源、城市空间化等方面匹配的研究。针对区域水资源与土地资源的匹配关系开展了大量研究^[3,4], 刘彦随等^[5]认为水土资源匹配系数是区域农业生产可供水资源与耕地资源在时空上适宜匹配的量比关系, 为此构建了农业水土资源匹配分析模型, 通过计算农业用水量与耕地面积之比来揭示区域水土资源匹配状况。王亚迪等^[6]采用水土资源匹配系数和基尼系数法分析了河南省水土资源匹配特征及均衡性。为了客观、科学地判断人口、经济、空间城市化之间内在的协调关联性, 孙平军等^[7]利用耦合度函数构建城市化水平综合测度指标分析人口与经济、城市化空间分异特征。封志明等^[8]通过构建一致性系数和偏离度指数分析不同尺度下我国人口分布与经济发展之间的空间匹配状况, 认为自然资源禀赋差异和地区发展不平衡是导致人口与经济一致性增强的主要原因。Zhang等^[9]采用人口密度、比例、地理聚集度来研究东北地区人口、经济、水资源的空间分布, 并通过不一致性指标分析人口与经济的空间匹配状况。张吉辉等^[10]采用基尼系数和不平衡指数, 结合人口、土地面积、GDP等社会经济要素变化, 分析我国水资源分布和水资源配置的匹配与均衡性。

收稿日期: 2019-07-12; 修订日期: 2019-11-13

基金项目: “十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07101001); 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金(2013zd06); “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0401307)

作者简介: 韩雁(1978-), 男, 山西大同人, 博士, 助理研究员, 研究方向为水文水资源。E-mail: hanyan78@163.com

在此基础上,洪思扬等^[11,12]分析了南水北调中线和东线调水前后受水区水资源与人口、GDP、土地面积和降水的空间匹配状况,以及能源耗水与总用水量和GDP之间的协调关系。刘欢等^[13]采用重心和标准差椭圆空间统计方法及洛伦兹基尼系数法对我国水—能源资源空间分布及匹配格局进行了分析。Liu等^[14]利用空间匹配度对京广高铁沿线不同地带城市的生态资源与经济关系进行分析,研究发现城市生态资源与经济间存在明显的负相关性。在流域尺度上,张晓涛等^[15]采用基尼系数对黄河流域经济发展与水资源的匹配状况进行分析。目前,对于水资源与社会经济匹配大多以匹配状况为主,缺乏对二者时空匹配演变的深入探讨。张家口地处京津冀西北部,降水稀少水资源十分短缺,作为水源涵养区和生态环境保护区,研究水资源与经济社会时空匹配对于整个京津冀协同发展具有重要意义。基于此,本文借鉴经济学中衡量居民收入分配公平性的基尼系数法,同时构建空间匹配不均衡指数模型,以张家口为例研究水资源与经济社会要素匹配在时间上的演化和空间上的差异,探讨其影响因素,揭示其时空匹配的演变规律,为区域水资源规划与配置提供基础,对实现区域水资源可持续利用具有重要意义。

1 研究方法 with 数据来源

本文以水资源、人口、经济、耕地面积作为主要要素,通过计算2004—2015年间的洛伦兹曲线和基尼系数,分析张家口水资源与社会经济发展要素在时间尺度上的匹配演化过程;构建空间匹配不均衡指数模型,以2005年、2010年和2015年为三个水平年,分析研究水资源与社会经济要素在空间尺度上的匹配差异与演化过程。

1.1 洛伦兹曲线与基尼系数

洛伦兹曲线在经济学上常用来比较和分析一个国家在不同时期或不同国家在同一时期的财富(收入)不平等情况。洛伦兹曲线可以直观地研究资源的匹配情况,但是无法对均衡或不均衡程度进行定量描述。意大利经济学家基尼^[16](Corrado Gini)于1912年在洛伦兹曲线基础上提出用于判断收入分配公平程度的经济学指标——基尼系数(Gini Coefficient)。基尼系数的取值范围是[0, 1],其值越接近0表示收入分配越平均;越接近1,则说明收入分配越不平均。

洛伦兹曲线和基尼系数主要被作为描述收入分配均衡程度的一种客观指标。自然界的水资源在地域空间分布上具有非均衡性,直接影响到区域农业生产和经济发展,其内涵的规律可类似于收入分配的均衡性问题。因此,可采用洛伦兹基尼系数法来描述水资源在地域空间上分配的非均衡程度^[17,18]。本文通过引入基尼系数来量化水资源与经济社会的匹配度。为便于计算,采用梯形面积法计算水资源与经济社会的匹配度,见式(1):

$$G = 1 - \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})(y_i + y_{i-1}) \quad (1)$$

式中: G 表示水资源与社会经济发展要素的基尼系数; x_i 表示第 i 个地区水资源量累计百分比; y_i 表示第 i 地区社会经济要素的累计百分比;当 $i=1$ 时, (x_{i-1}, y_{i-1}) 视为 $(0, 0)$ 。水资源与社会经济发展要素匹配的基尼系数阈值划分,见表1。

1.2 不均衡指数

基尼系数虽可以反映出区域水资源与社会经济要素的整体匹配情况,但并未体现出匹配的空间差异。因此,本文借鉴人口与经济一致性系数^[8],构建水资源与社会经济一致性系数反映水资源与社会经济要素匹配的空间差异,见式(2):

表1 基尼系数阈值划分

Table 1 The threshold vale of evaluation of Gini Coefficient

范围	0	(0, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.4)	[0.4, 0.5)	[0.5, 1)	1
等级	高度匹配	完全匹配	相对匹配	匹配比较合理	相对不匹配	完全不匹配	高度不匹配

$$DIF_i = \frac{WR_i}{SE_i} = \frac{\left(\frac{wr_i}{\sum_{i=1}^n wr_i} \right)}{\left(\frac{se_i}{\sum_{i=1}^n se_i} \right)} \quad (2)$$

式中： DIF_i 表示*i*地区水资源与社会经济的一致性系数； WR_i 表示第*i*地区的水资源聚集水平（ $i=1, 2, \dots, n$ ）； n 代表地区数目（个）； SE_i 表示第*i*地区的社会经济集聚水平； wr_i 表示第*i*地区水资源量（万 m^3 ）； se_i 表示第*i*地区社会经济发展要素的数量。对于区域水资源经济社会分布而言， $DIF > 1$ 表示该地区水资源禀赋水平高于社会经济集聚水平， $DIF < 1$ 表示该地区水资源禀赋水平低于社会经济集聚水平， DIF 越偏离1，表示区域水资源社会经济分布一致性越差，反之 DIF 越接近于1，表示区域水资源与社会经济分布的均衡性越好。

DIF 指标能够刻画某一地区水资源与社会经济分布匹配的差异程度，但对匹配偏离的相对程度难以比较。为此，在 DIF 指标基础上构建区域水资源与社会经济偏离指数（ DEV ），以此衡量一个地区水资源与经济社会分布空间均衡度，见式（3）：

$$DEV_i = \sqrt{(DIF_i - 1)^2} \quad (3)$$

式中： DEV_i 表示第*i*地区水资源与经济社会的不均衡指数，取值范围为 $[0, +\infty)$ 。 DEV 值越小，表明区域水资源与经济社会发展越均衡；反之则表明区域水资源与社会经济发展均衡性越差。

基础数据来源于2004—2015年《张家口市经济年鉴》^[19]、张家口市水利综合统计年报^[20]等。按照行政区划，将张家口划分为14个分区，从匹配的空间分布和时间演化方面分析水资源与经济、社会发展要素的匹配特征。由于降水事件具有随机波动性，使得地表径流具有了不确定性，单独某一年的水资源量并不能代表该地区水资源丰富程度，为客观反映地区水资源量的丰富程度，这里以多年平均水资源量来反映地区的水资源禀赋情况。

2 结果分析

2.1 研究区概况

张家口位于河北省西北部，东南毗连北京市，南邻河北省保定市，西南与山西省接壤，西北与内蒙古自治区交界，总面积3.69万 km^2 。地势西北高、东南低，地势复杂，基本地貌可划分为坝上高原和坝下中低山两个不同的单元。坝上为内蒙古高原的一部分，海拔高度为1300~1500 m，地形起伏较小，大部分为草滩、草坡所覆盖，内陆湖沼众多，面积1.17万 km^2 ，占全市面积的31.5%，包括康保、沽源、张北三县和尚义县的北部。坝下山峦起伏，沟壑纵横，山地、丘陵、盆地相间分布，海拔高度在500~1000 m，坝下面积2.52万 km^2 ，占全市面积的68.5%，包括张家口中心城区、宣化、下花园和怀安等9个区县及尚义县南部。张家口行政区划见图1。

张家口属寒温带大陆性气候，风多雨少、气候干燥，多年平均气温1.2~9.1 $^{\circ}C$ ，坝上

多年平均降水量 360~400 mm, 坝下 400~500 mm, 多年平均蒸发量 850~1200 mm, 干旱指数 2.0~2.5, 无霜期 90~130 天, “十年九旱”是张家口典型的气候特征。全市年平均水资源总量为 17.99 亿 m^3 , 其中地表水资源量为 11.62 亿 m^3 , 地下水资源量 11.91 亿 m^3 , (地表、地下重复水量 5.53 亿 m^3) 全市平均地表水可利用量为 4.77 亿 m^3 , 地下水可开采量为 6.48 亿 m^3 。2015 年全市总人口 469.01 万人, 人均水资源量仅为 384 m^3 /人, 为全国人均水资源量的 1/5, 远低于国际上认为的 500 m^3 /人的极度缺水标准, 属于严重缺水地区, 水资源短缺已成为制约张家口经济和社会发展的主要因素^[21,22]。坝上水资源量占全市的 29.4%, 人口占全市的 23.1%, 拥有耕地面积的 45.0%, 产生的 GDP 占全市的 17.3%; 坝下水资源量占全市的 67.5%, 人口占全市的 76.9%, 拥有耕地面积的 55.0%, 产生的 GDP 占全市的 82.7%。水资源与社会经济发展布局不相一致, 影响了区域的协调可持续发展^[23]。作为京津冀的水源涵养区和生态环境保护区, 科学、客观分析张家口水资源与社会经济时空匹配特征, 对于区域水资源可持续开发利用具有重要意义。

2.2 结果分析

利用洛伦兹基尼系数和空间不均衡指数模型, 对水资源与社会经济要素的时空匹配度进行计算, 得到 2015 年张家口水资源与社会经济发展要素匹配的洛伦兹曲线和空间匹配格局 (图 2、图 3)。

由图 2a 可知, 2015 年张家口水资源人口洛伦兹曲线几乎为一条偏离于过原点的直线, 斜率变化相对较均匀, 基尼系数值为 0.305。根据表 1 可知水资源人口基尼系数处于“匹配比较合理”范围, 表明水资源分布与人口分布匹配较合理。从空间分布上来看, 赤城、张家口市区的不均衡指数 (DEV) 较高, 分别达到了 1.094 和 0.905, 同时这两地区也是全市人均水资源量最为丰富和最为短缺的地区; 水资源与人口的 DEV 指数最低为蔚县、怀来, 分别为 0.004 和 0.036, 上述两地区的人均水资源量接近全市平均值, 张家口水资源与人口分布的空间匹配, 见图 3a。

2015 年张家口水资源与 GDP 的基尼系数值为 0.446, 属于“相对不匹配”状态。从水资源与 GDP 的洛伦兹曲线斜率变化分析, 斜率变化不均衡, 如图 2b, 曲线最后部分有明显的拐点, 说明部分地区的经济发展水平和水资源占有量的匹配差距明显, 如张家口市区水资源量仅占全市的 1.65%, 产出的 GDP 占 33.75%, 而赤城水资源量占全市的

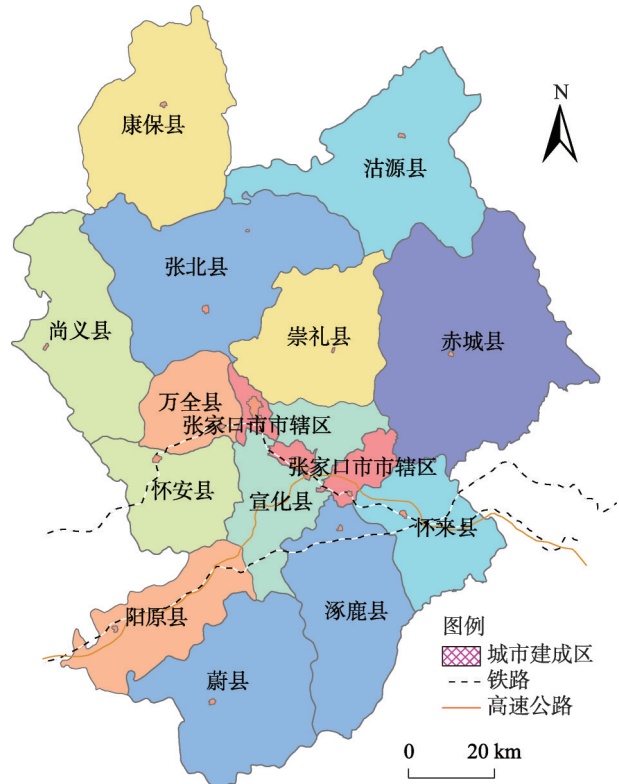


图 1 张家口行政区划

Fig. 1 The map of administrative region in Zhangjiakou

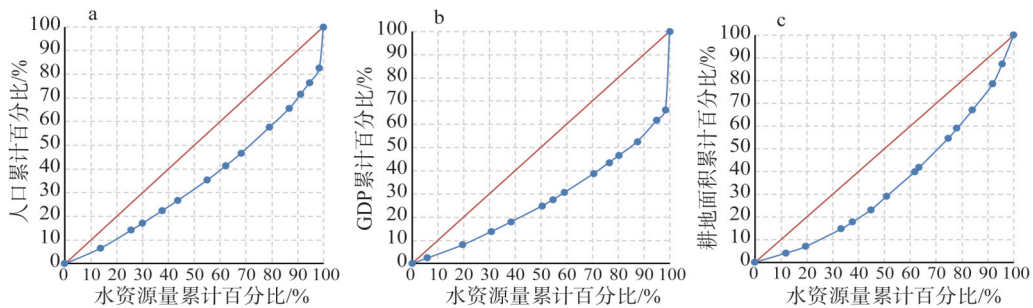


图2 2015年张家口水资源社会经济要素洛伦兹曲线

Fig. 2 The Lorenz curves between water resources and factors of social economy in Zhangjiakou, 2015

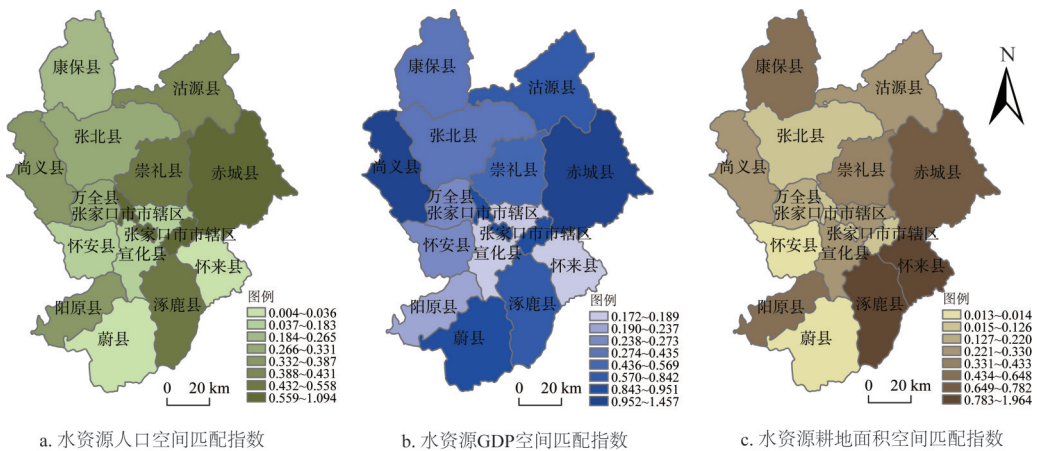


图3 2015年张家口水资源社会经济要素空间匹配格局

Fig. 3 The spatial matching between water resources and factors of social economy in Zhangjiakou, 2015

13.7%，产生的GDP仅占全市GDP的5.66%。从空间分布上来看，水资源与GDP的 DEV 指数最高地区为尚义、赤城，分别达到了1.457和1.418，这是由于尚义属张家口经济较落后地区，GDP占全市2.4%，赤城人均水资源量最为丰富，为 $824 \text{ m}^3/\text{人}$ ；水资源与GDP的 DEV 指数最低为阳原、怀安，分别为0.237和0.273。2015年张家口水资源与GDP分布的空间匹配情况，见图3b。

由图2c可见，水资源和耕地面积的洛伦兹曲线与过原点的直线较接近。2015年张家口水资源与耕地面积的基尼系数为0.313，相比水资源与人口、GDP的基尼系数值都小，洛伦兹曲线的斜率变化也均衡，水资源与耕地面积处于“相对匹配”状态，表明当前张家口水资源与耕地面积的整体分布比较均衡。从空间分布来看，水资源与耕地面积的 DEV 指数最高为涿鹿、怀来，分别为1.964和1.596，主要因这两地区地形坡度较大，耕地面积占全市面积并不大，分别仅占4.0%和2.9%，但水资源量占全市的12%和7.6%。水资源与耕地面积的 DEV 指数最低地区为蔚县，为0.013，农业亩均综合灌溉用水量接近全市平均值，见图3c。

根据国际惯例，一般以0.4作为基尼系数的“警戒线”。2004—2015年张家口水资源与人口、水资源与耕地面积的基尼系数在0.30左右波动，基尼系数处于“匹配比较合理”和“相对匹配”状态。2004—2010年水资源与GDP基尼系数均大于0.5，2011—2015

年处于0.42~0.45之间，表明近几年张家口水资源与经济匹配的匹配呈现由“完全不匹配”逐渐转变为“相对不匹配”状态，匹配状况有所提高。这是因为随着张家口经济社会发展，农业节水灌溉推广，以及产业结构调整，用水效率得到了提高，水资源与经济间的匹配度逐渐得到协调，但仍处于0.4“警戒线”以上。2004—2015年张家口水资源与社会经济要素基尼系数变化过程，见图4。

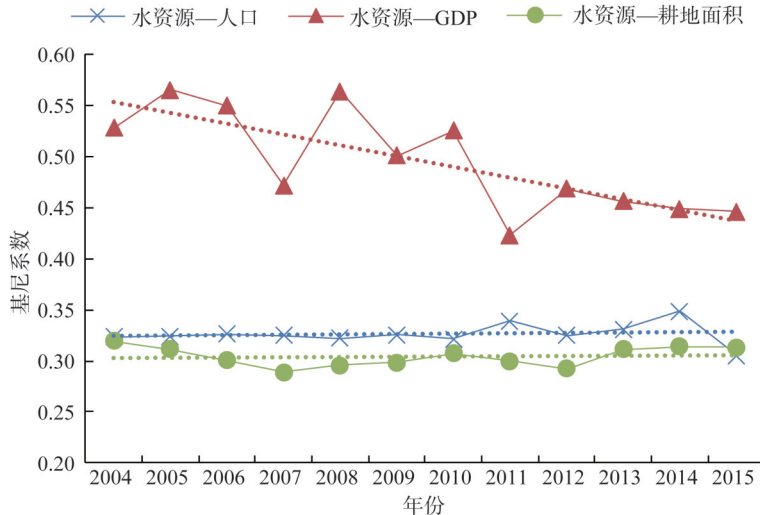


图4 2004—2015年张家口水资源与社会经济要素基尼系数变化曲线

Fig. 4 The curves of Gini coefficient between water resources and factors of social economy in Zhangjiakou from 2004 to 2015

2005年、2010年和2015年张家口水资源与人口、水资源与耕地面积的 DEV 指数变化不大，主要与近几年各行政区的人口、耕地面积变化不大有关。不同水平年水资源与经济 DEV 指数变化幅度较大，变化最大的为蔚县，由2005年的0.424增长到2015年的0.937，增长了121%，表明蔚县水资源与经济的匹配度在降低，主要是因该地区GDP比例由2005年的7.7%降低到2015年的5.7%。 DEV 指数降低幅度最大的为沽源，由2005年的2.389降低到2015年的0.842，降低了65%，表明水资源与经济的匹配度在增强，这是因为GDP所占比例由2005年的2.3%提高到2015年的4.2%，增长了83%。可见，当水资源比例大于经济比例时，即一致性系数 $DIF > 1$ ，经济增速越大， DEV 指数值越小，空间均衡性越好，水资源与经济的空间匹配度越好。反之，当水资源比例小于经济比例时，即一致性系数 $DIF < 1$ ，经济增速越快，空间均衡性越差，水资源与经济的空间匹配度越差。如怀来县，GDP所占全市比例由2005年的9.0%增长到2015年的9.2%， DEV 指数由2005年的0.158上升到2015年的0.172，表明水资源与经济的空间匹配度在降低。

不同水平年张家口水资源与社会经济要素空间匹配不均衡指数变化，见表2。

3 结论与讨论

3.1 讨论

(1) 空间匹配等级及水资源社会经济综合评价

本文构建了不均衡指数模型，通过空间匹配不均衡指数评价张家口水资源与社会经济要素的空间差异，并对不同时期的空间匹配情况进行了比较，为研究水资源与经济社

表2 不同水平年张家口水资源与社会经济要素空间匹配不均衡指数

Table 2 The unbalanced coefficient between water resources and factors of social economy in Zhangjiakou in different level year

县(区)	水资源与人口DEV指数			水资源与经济DEV指数			水资源与耕地面积DEV指数		
	2005年	2010年	2015年	2005年	2010年	2015年	2005年	2010年	2015年
康保	0.290	0.265	0.265	0.554	0.412	0.435	0.660	0.658	0.648
张北	0.362	0.311	0.331	0.809	1.035	0.390	0.192	0.224	0.126
沽源	0.448	0.454	0.431	2.389	1.706	0.842	0.377	0.349	0.323
尚义	0.413	0.426	0.387	2.316	1.727	1.457	0.176	0.313	0.263
怀安	0.118	0.136	0.116	0.986	0.296	0.273	0.007	0.014	0.014
万全	0.304	0.290	0.310	0.506	0.280	0.256	0.016	0.073	0.220
市区	0.914	0.914	0.905	0.962	0.958	0.951	0.167	0.064	0.099
崇礼	0.584	0.613	0.514	1.240	1.178	0.569	0.683	0.733	0.433
宣化	0.168	0.168	0.183	0.306	0.283	0.189	0.250	0.280	0.330
怀来	0.008	0.003	0.036	0.158	0.203	0.172	1.220	1.548	1.596
涿鹿	0.633	0.617	0.558	1.171	0.987	0.760	1.794	1.909	1.964
蔚县	0.073	0.052	0.004	0.424	0.499	0.937	0.068	0.056	0.013
阳原	0.388	0.370	0.380	0.187	0.016	0.237	0.529	0.496	0.581
赤城	1.163	1.173	1.094	2.901	1.762	1.418	0.785	0.737	0.782

会匹配的时空演化提供了技术方法,为进一步研究水资源配置提供了基础。研究结果表明水资源与人口、水资源与耕地面积的空间匹配差异变化不大,水资源与经济的空间差异变化比较大。但未给出空间匹配状况的等级,即空间匹配度的阈值划分。未来可通过资料调研,结合专家经验对空间匹配不平衡的阈值进一步分析。

本文从水资源与人口、水资源与经济、水资源与耕地面积三方面研究水资源与社会经济的时空匹配特征,缺少水资源与社会经济时空匹配的综合评价。下一步可全面考虑社会经济发展要素,如城市水平、产业结构、劳动力等。通过比较选择合适的评估方法,对水资源与社会经济时空匹配关系进行综合评估。

(2) 不同情景下水资源与社会经济匹配分析

由于降水事件的随机性,不同水文情景下的水资源与社会经济的匹配情况是不同的。本文分析了多年平均条件下水资源与社会经济要素的时空匹配,未考虑不同水文情景下(丰水年、平水年、枯水年)水资源与社会经济匹配关系。由于平水年条件下水资源量与多年平均水资源量相接近,丰水年和枯水年水资源量较多年平均差别较大,如此使得水资源与社会经济的匹配度也会发生很大变化,特别在空间布局上,受气候和地形的影响,坝上坝下降水空间差异较大,水资源与社会经济的匹配度也会产生较大变化。未来可进一步分析不同水文情景下水资源与社会经济的时空匹配状况。

此外,从时间演化过程选取了2005年、2010年和2015年三个水平年进行水资源与社会经济要素的匹配分析。未来可从水资源的长期变化趋势,如五十年代,改革开放后,近期等发展阶段,以及冬奥会之后,分析不同阶段的水资源与社会经济要素的匹配状况。

(3) 人口迁移对水资源与社会匹配度的影响

本文分析了张家口水资源与人口的匹配关系,基尼系数在0.32上下波动,处于“匹配比较合理”状态,但并未考虑人口迁移对其匹配状况的影响。2000年张家口市城市化水平24%,市辖区人口85.14万人,2015年城市化水平达到了52.5%,市辖区人口91.24

万人,可以看出张家口人口具有逐渐向大城市聚集的发展趋势。人口迁移过程非常复杂,受多方面因素的影响,人口迁移会导致地区水资源短缺状况的发生,例如2015年张家口市辖区人口占全市的17.47%,但水资源量仅为全市的1.65%,属于水资源严重短缺地区,人均水资源量仅为 $37\text{ m}^3/\text{人}$,远低于张家口其他地区。从空间分布上看,市辖区水资源与人口匹配度也比较差,不均衡指数高达0.905。未来随着城市化水平提高,区域人口向大城市聚集,城市缺水的状况会越来越严重,水资源与人口的匹配状况会更差。

(4) 产业结构对水资源与经济匹配度的影响

经济发展往往是与地区的产业结构密切相关的。本研究分析了水资源与GDP发展的匹配关系,发现近几年张家口水资源与经济发展匹配有所改善,呈现出由“完全不匹配”逐渐转变为“相对不匹配”状态,但未考虑产业结构的影响。在同一地区,多年平均降水条件下,由于产业结构的不同,水资源与经济匹配的匹配度会有很大差别。张家口属京津冀的落后地区,尤其在坝上地区,经济发展主要以第一产业为主,而第一产业用水往往较其他行业的用水效率低,水资源的边际效益差。在坝下的经济发达地区,如市辖区、宣化、怀来等地,第三产业增加值远高于经济落后地区,水资源与GDP的匹配度差别明显。产业结构变化具有不确定性,随着经济社会发展,产业结构调整,地区间经济增速会有很大差别。同时,产业结构变化也会受到政策的影响,2022年张家口将与北京联合举办第24届冬奥会,给区域经济发展带来有利契机,届时相关的服务产业将会大大促进地区经济发展,水资源与经济的匹配度相应也会发生变化。

3.2 结论

当前,水资源短缺已成为许多地区经济社会发展的重要制约因素,研究水资源与社会经济发展的匹配和协调关系,对于实现区域水资源的可持续利用至关重要。本文以张家口为例,分析区域水资源与人口、GDP和耕地面积等社会经济要素的匹配关系,进而揭示其时空匹配的演变规律,主要结论有:

(1) 构建了区域水资源与社会经济发展时空匹配方法,以洛伦兹基尼系数法分析匹配的时间演变,以不均衡指数来揭示其匹配的空间差异性,为研究区域水资源与社会经济发展的时空匹配提供了技术支撑。研究表明2004—2015年张家口水资源与人口、水资源与耕地面积处于“匹配比较合理”和“相对匹配”状态。水资源与GDP的基尼系数处于警戒线(基尼系数大于0.4)以上,随着区域产业结构调整,张家口的水资源与经济发展匹配呈现出由“完全不匹配”逐渐转变为“相对不匹配”状态,匹配状况有所好转。

(2) 张家口水资源社会经济要素的空间匹配演变与地区水资源禀赋和经济增长速度有关。水资源占区域总水资源量的比例大于经济占区域总经济比例时,经济增速越快,不均衡指数值越小,空间均衡性越好,水资源与经济的匹配度越好。反之,当水资源比例小于经济比例时,经济增速越快,不均衡指数越大,空间均衡性越差,水资源与经济的匹配度越差。

(3) 除个别地区差异明显外,张家口水资源与社会经济要素的空间匹配情况总体上处于匹配比较合理和相对匹配状态。这一结论也表明为了保护京津冀西北生态环境和对下游地区水质与水量的供给,张家口未对水资源进行大规模开发利用,未以牺牲生态环境为代价换取经济社会高速发展。按照国家发展战略定位,未来张家口将作为京津冀地区水源涵养功能区,水资源开发利用以保护生态环境为优先,提高水资源利用效率,协调好水资源与社会经济匹配关系,为北京、天津等中下游地区提供更多更好的水资源供

给与生态服务。

参考文献(References):

- [1] 宋先松, 石培基, 金蓉. 中国水资源空间分布不均引发的供需矛盾分析. 干旱区研究, 2005, 22(2): 162-166. [SONG X S, SHI P J, JIN R. Analysis on the contradiction between supply and demand of water resources in China owing to uneven regional distribution. *Arid Zone Research*, 2005, 22(2): 162-166.]
- [2] 刘洋, 金凤君, 甘红. 区域水资源空间匹配分析. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(5): 657-660. [LIU Y, JIN F J, GAN H. Analysis of spatial match of regional water resource. *Journal of Liaoning Technical University*, 2005, 24(5): 657-660.]
- [3] 孙侦, 贾绍凤, 严家宝, 等. 中国水土资源本底匹配状况研究. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2057-2066. [SUN Z, JIA S F, YAN J B, et al. Study on the matching pattern of water and potential arable land resources in China. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(12): 2057-2066.]
- [4] 南纪琴, 王景雷, 秦安振, 等. 中国西北旱区农业水土资源利用情景潜力研究. 自然资源学报, 2017, 32(2): 292-300. [NAN J Q, WANG J L, QIN A Z, et al. Study on utilization potential of agricultural soil and water resources' in north-west arid area. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(2): 292-300.]
- [5] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局. 地理学报, 2006, 61(8): 847-854. [LIY Y S, GAN H, ZHANG F G. Analysis of the matching patterns of land and water resources in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(8): 847-854.]
- [6] 王亚迪, 左其亭, 刘欢, 等. 河南省水土资源匹配特征及均衡性分析. 人民黄河, 2018, 40(4): 55-59. [WANG Y D, ZUO Q T, LIU H, et al. Equilibrium analysis of the matching characteristics of water and soil resources in Henan province. *Yellow River*, 2018, 40(4): 55-59.]
- [7] 孙平军, 丁四保, 修春亮, 等. 东北地区“人口—经济—空间”城市化协调性研究. 地理科学, 2012, 32(4): 450-457. [SUN P J, DING S B, XIU C L, et al. Population-economy-space urbanization of Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(4): 450-457.]
- [8] 封志明, 刘晓娜. 中国人口分布与经济发展空间一致性研究. 人口经济, 2013, 34(2): 3-11. [FENG Z M, LIU X N. Multi-scale studies on the space consistency between population distribution and economic development in China. *Population & Economics*, 2013, (2): 3-11.]
- [9] ZHANG C L, LIU Y, QIAO H J. An empirical study on the spatial distribution of the population, economy and water resources in Northeast China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2015, 79-82(1): 93-99.
- [10] 张吉辉, 李健, 唐燕. 中国水资源与经济发展要素的时空匹配分析. 资源科学, 2012, 34(8): 1546-1555. [ZHANG J H, LI J, TANG Y. Analysis of the spatio-temporal matching of water resources and economic development factors in China. *Resources Science*, 2012, 34(8): 1546-1555.]
- [11] 洪思扬, 宋志松, 程涛, 等. 基于基尼系数的南水北调受水区水资源空间匹配分析. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2017, 53(2): 175-179. [HONG S Y, SONG Z S, CHENG T, et al. Spatial matching analysis of water resources in the intake area of south-north water transfer project based on Gini coefficient. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2017, 53(2): 175-179.]
- [12] 洪思扬, 王红瑞, 来文立, 等. 我国能源耗水空间特征及其协调发展脱钩分析. 自然资源学报, 2017, 32(5): 800-813. [HONG S Y, WANG H R, LAI W L, et al. Spatial analysis and coordinated development decoupling analysis of energy-consumption water in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 800-813.]
- [13] 刘欢, 贾仰文, 牛存稳. 区域水—能源资源的空间分布特征及匹配格局分析. 水电能源科学, 2017, 35(6): 127-131. [LIU H, JIA Y W, NIU C W. Analysis of spatial distribution characteristic and matching pattern of regional water-energy resources. *Water Resources and Power*, 2017, 35(6): 127-131.]
- [14] LIU H X, HAN B L, WANG L. Modeling the spatial relationship between urban ecological resources and economy. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 173(1): 207-216.
- [15] 张晓涛, 于法稳. 黄河流域经济发展与水资源匹配状况分析. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(10): 1-6. [ZHANG X T YU F W. Analysis of the matching status between economic development and water resources in the Yellow River Basin. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(10): 1-6.]
- [16] 高鸿业. 西方经济学(微观部分). 北京: 中国人民大学出版社, 2018: 149-150. [GAO H Y. *Western Economics (Micro-economics)*. Beijing: China Renmin University Press, 2018: 149-150.]
- [17] 姜宁, 付强. 基于基尼系数的黑龙江省水资源空间匹配分析. 东北农业大学学报, 2010, 41(5): 56-60. [JIANG N, FU

- Q. Spatial matching analysis of Heilongjiang province's water resources based on Gini coefficient. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, 41(5): 56-60.]
- [18] 马慧敏, 武鹏林. 基于基尼系数的山西省水资源空间匹配度分析. *人民黄河*, 2014, 36(11): 58-61. [MA H M, WU P L. Spatial matching analysis of Shanxi province's water resources based on Gini coefficient. *Yellow River*, 2014, 36(11): 58-61.]
- [19] 张家口市人民政府办公室, 张家口市统计局. 张家口市经济年鉴(2005—2016). 北京: 中国统计出版社, 2016. [Zhangjiakou Municipal People's Government Office, Zhangjiakou Municipal Bureau of Statistics. *Zhangjiakou Economic Yearbook (2005-2016)*. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [20] 张家口市水务局. 张家口市水利综合统计年报(2005—2016). [Zhangjiakou Water Authority. *Zhangjiakou Water Resources Bulletin (2005-2016)*.]
- [21] 张克阳, 李春光. 张家口市水资源现状分析. *河海水利*, 2010, (6): 10-11. [ZHANG K Y, LI C G. Analysis of water resources current situation in Zhangjiakou. *Hohai Water Resources*, 2010, (6): 10-11.]
- [22] 张克阳, 苏亮, 班富孝. 张家口市水资源优化配置探讨. *现代农业科技*, 2010, (14): 235-237. [ZHANG K Y, SU L, BAN F X. Discussion of water resources reasonable allocation in Zhangjiakou. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010, (14): 235-237.]
- [23] 班富孝. 张家口市水资源开发利用存在的问题及对策. *现代农业科技*, 2010, (11): 253-254. [BAN F X. The problems and countermeasure of water exploitation in Zhangjiakou. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010, (11): 253-254.]

Spatiotemporal matching between water resources and social economy: A case study in Zhangjiakou

HAN Yan^{1,2}, JIA Shao-feng^{1,2}, LU Chun-xia¹, LYU Ai-feng^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Water shortage has become a vital restricted factor for developing of regional socio-economy. It is critical to harmonize the relationship between water exploitation and socio-economic development so as to achieve sustainable utilization of water resources. In this paper, we take Zhangjiakou as a case study, and adopt the Lorenz Gini coefficient method and imbalance index model to examine the spatiotemporal matching between water resources and socio-economy. The results indicate that the match status between water resources and population, and between water resources and farmland, were reasonable and relatively reasonable respectively from 2004 to 2015. The match status between water resources and economy was changing from complete to relative mismatch. In terms of spatial matching, there was little change of matching between water and population, and between water and farmland. The less water resources there are in a region, the faster economic development is, and the worse the matching between water and economy. This study is important for the development and utilization of water resources in the study area.

Keywords: water resources; spatio-temporal matching; Gini coefficient; imbalance index; Zhangjiakou